

Doktori értekezés tézisei

Spontán folyamat-e a csillagkeletkezés?

Készítette: Kiss Zoltán Tamás

ELTE TTK Fizika Doktori Iskola

Doktori iskola vezetője: dr. Horváth Zalán

Részecskefizika és csillagászat doktori program

Programvezető: dr. Csikor Ferenc

Témavezető:

dr. Tóth L. Viktor PhD, egyetemi adjunktus

ELTE TTK Csillagászati Tanszék

ELTE TTK Csillagászati Tanszék

2007

Bevezetés

A csillagok a jelenlegi Univerzum alapvető jelentőségű építőkövei. A galaxisok tömegének nagy része csillagokban összpontosul. A csillagközi gáz csillagokká alakításával a csillagkeletkezés meghatározója a galaxisok szerkezetének és fejlődésének. Az univerzum korai fejlődése során kialakult kémiai összetételét a csillagok belsejében zajló folyamatok alakítják. A csillagok keletkezésével szorosan összefügg a bolygórendszerek keletkezése, mely a csillagkeletkezés folyamatának utolsó szakaszában mehet végbe. Ha a körülmények lehetővé teszik stabil bolygórendszer létrejöttét, az a csillag fősorozatra kelüléséig lezajlik.

A kis tömegű csillagok keletkezésének vizsgálatában kulcsszerepet tölt be a fiatal objektumok, T Taurik eloszlásának tanulmányozása, illetve kapcsolata a csillagközi anyag eloszlásával. Jelen munka az ELTE Csillagászati Tanszékén 20 éve folyó kutatási program része. A program keretében Tóth L. Viktor vezetésével végzett munka a nagy skálákon megfigyelhető jelenségek átfogó vizsgálatától (pl. Kiss Cs. és mtsai., 2004), egyedi objektumok részletes vizsgálatán keresztül (pl. Tóth & Walmsley, 1996), a fiatal csillagok és a csillagközi anyag eloszlása közti összefüggést, a csillagkeletkezést gerjesztő és befolyásoló tényezők tanulmányozásáig (pl. Kiss és mtsai., 2006) széles skálát átfog. A program elindításának közvetlen előzménye a Konkoly Obszervatóriumban több évtizede zajló, a hazai megfigyelési adottságokat és a nemzetközi együttműködésben elérhető legfejlettebb mérőeszközök nyújtotta lehetőségeket kihasználó hasonló témában végzett eredményes munka. Ennek eredményei többek között fiatal csillagok felfedezése (Kun, 1982), valamint az ilyen csillagok fizikájának leírása: spektrális jellegzetességeinek nem izotrop kiáramlással történő magyarázata (Jankovics, Appenzeller & Krautter, 1983).

A korábbi, csillagkeletkezési területek, molekulafelhők szerkezetének, a

bennük uralkodó viszonyoknak, a csillagkeletkezés folyamatainak, illetve gerjesztett vagy spontán voltának megismerésére irányuló vizsgálatokat azonban általában lokálisan, egy-egy kiválasztott felhő, illetve komplexum környezetén célzottan végezték. Ebből adódóan, bár ezen vizsgálatokból nem lokális érvényű következtetésekre is jutottak, a vizsgálati módszerek és azok kombinációi az egyes területeken eltérőek. Nagy skálákon homogén módon nyert és feldolgozott megfigyeléseken alapuló eredményekből ezidáig kevés született. Egy nagyobb, változatosabb területet átfogó, különböző környezeti sajátosságok közt megfigyelhető, elszigetelt illetve felhőcsoportok belsejében levő felhőket is tartalmazó mintán végzett homogén vizsgálat információt adhat a kapott eredmények érvényességének általános vagy helyi voltáról.

Munkám első részében megvizsgáltam a klasszikus T Taurik (CTT) felületi sűrűsége és az extinkció közti általános összefüggést, valamint a kiválogatott CTT mintában statisztikailag szignifikáns csoportosulásokat kerestem. A Two Micron All Sky Survey (2MASS) teljes égboltról készült közeli infravörös (NIR) pontforrás-katalógusának (Cutri és mtsai., 2003) felhasználásával azonosítottam a klasszikus T Tauri jelölteket. Összevettem a CTT-k elhelyezkedését a korábban Kiss Cs. és mtsai. (2004) és Könyves és mtsai. (2007) által az Infrared Astronomical Satellite-IRAS Sky Survey Atlas (IRAS-ISSA) adatbázisát felhasználva katalógusba foglalt galaktikus infravörös hurkok helyzetével. A T Taurik eloszlása a csillagok csoportosulásának vizsgálata szempontjából ugyancsak fontos. Ha a legtöbb csillag halmazban keletkezik (ld. pl. Carpenter, 2000; Lada & Lada, 2003), akkor a legfiatalabb T Tauri csillagoknak is valamilyen csoportosulást kell mutatniuk, még akkor is, ha a csoportok viszonylag kicsik és lazák. Például a Naprendszer néhány száz 100 pc-es környezetében lévő T Tauri csillagok röntgentérképe több skálán is csoportosulást mutat (Guillout és mtsai., 1998), ami azt sugallja, hogy a csillagok hierarchikus szerkezetű csillagközi anyagban keletkeznek, és eloszlásuk a szuperszonikus turbulencia szerkezetét

követi. Ennek további tanulmányozására meghatároztam a halmazokban levő klasszikus T Taurik számának eloszlásfüggvényét.

A dolgozat második részében a csillagközi anyag szerkezetéről és a Cepheus Flare területen megfigyelhető csillagkeletkezésről közlöm saját eredményeimet az új extinkció- és $170\ \mu\text{m}$ -es ISOSS adatok alapján. Felhőket, felhőkomplexumokat és üregeket lokalizáltam a hagyományos vizuális adatokon alapuló extinkciótérképem alapján. Szintén tárgyalom az újabb, csillagok 2MASS felmérésben meghatározott közeli infravörös színein alapuló módszerrel kapott extinkciótérkép használatával adódó eltéréseket. A felhők alakját és infravörös jellemzőit számszerűsítve leíró mennyiségeket definiáltam. Ahol lehetőség volt rá, megvizsgáltam az átfogó tendenciákat, nagy léptékű változásokat, és kiküszöböltem a felhők jellemzését torzító hatásait. Az egyes felhőknél nagyobb léptékekben is megvizsgáltam a csillagközi anyagot. Definiáltam és jellemeztem az egymástól elkülönülőnek látszó molekulafelhő-csoportokat. Céljaim között szerepelt az is, hogy olyan paramétereket, vagy paraméterkombinációkat találjak, beleértve a látható és távoli infravörös jellemzőket valamint a morfológiát, amelyek alapján megkülönböztethetőek azok a felhők, amelyekben csillagkeletkezés zajlik. Értekezésemben figyelmet szentelek bizonyos különleges morfológiai jegyeket mutató, „globuláris” illetve „üstökösszerű” felhőkre, melyek fontosak lehetnek a gerjesztett csillagkeletkezés szempontjából. Megvizsgáltam a csillagközi pro színhőmérsékletének eloszlását, annak kapcsolatát az extinkció eloszlásával. Összehasonlítottam az egyes felhők jellemző hőmérséklet és extinkcióértékeit értékekkel, valamint a felhők tömegét. A fiatal csillagszerű források elhelyezkedésével összevetve, jellemeztem mindezek hatását a csillagkeletkezés hatékonyságára.

Tézisek

1. A 2 Micron All Sky Survey (2MASS) pontforrás-katalógusból közeli infravörös színindexek alapján kiválogattam a nagy megbízhatósággal klasszikus T Taurinak (CTT) tekinthető forrásokat. A minta elemszáma elegendő statisztikai vizsgálatok elvégzésére, emellett a ismert T Taurik adataival a SIMBAD adatbázis segítségével végzett összevetés alapján számos újonnan talált CTT-t is tartalmaz. Statisztikai módszerrel 64 csoportosulást találtam a CTT-k eloszlásában a területen. A csoportokban a csillagok felületi sűrűsége a Poisson-eloszlásból várhatónál lényegesen nagyobb. A tagszám alapján becsült halmaztömegek eloszlásfüggvénye hasonlónak mutatkozott a hagyományos értelemben vett halmazokéval. A függvény jelen esetben egészen a csupán néhány CTT-t tartalmazó halmazokig terjed. Ez azt jelzi hogy a halmazok képződése a csillagkeletkezés folyamatának szerves része, még az egyes csillagok szintjén is. Ilyen kis halmazokat korábban nem azonosítottak statisztikailag szignifikáns módon.
2. A kiválogatott CTT-minta objektumainak eloszlása valamint a csillagközi anyag nagyléptékű szerkezete között korrelációt találtam. A CTT-gyakoriságban többlet figyelhető meg az porhajak területén a rajtuk kívüli egyéb területekhez képest. A korreláció akkor is megfigyelhető, ha kis extinkciótartományokra bontva a végeztem el a vizsgálatot. A valódi mintából kapott eredményeket összehasonlítva Monte Carlo szimuláció segítségével kapott véletlenszerű, csak az extinkció értékétől függő eloszlásból várhatóakkal, a hajakon megfigyelhető CTT-többlet erősebb, mint az véletlen esetben várható. A megfigyelt többlet 0,25 mag és 25 mag extinkció között 5σ megbízhatósággal mérhető.
3. Elkészítettem a Cepheus terület egy ≈ 256 négyzetfokos mezőjének A_V

extinkciótérképét két független módszerrel. Az extinkciótérkép alapján 8 felhőkomplexumot és 4 üreget azonosítottam, illetve automatizált eljárással 208 felhőt definiáltam.

4. A felhők alakját számszerűen leíró mennyiségeket vezettem be, és bizonyos morfológiai jellemzőket mutató, nevezetesen globuláris és üstökösszerű felhőket találtam. A felhők megfigyelt vetületi tengelyarány-eloszlását jól egyezőnek találtam az elnyúlt ellipszoiddal és véletlenszerű irányultsággal modellezett eloszlással.
5. Összefüggést találtam a csillagközi por átlagos T_{DC} színhőmérséklete és a b galaktikus szélesség között: $T_{DC}(b) = 19,8 - 0,3b$, illetve a felhők T_{DC}^{min} minimumhőmérséklete és a galaktikus szélesség között: $T_{DC}^{min}(b) = 16,63 - 0,09b$. A felhők és a felhőközi anyag távoli infravörös színindexeit eltérőnek találtam, csakúgy mint a különböző morfológiai osztályba sorolt felhőkét. Összefüggést találtam az egyes felhőkben megfigyelt legalacsonyabb hőmérséklet és az optikai illetve közeli infravörös adatokból kapott csúcsextingció között: az átlátszatlanabb felhőkben alacsonyabb hőmérsékletek fordulnak elő.
6. Meghatároztam a felhők tömegfüggvényét, melynek hatványindexét $\alpha = 1,70 \pm 0,1$ -nek találtam, ami jól egyezik a korábban más szerzők által CO mérések alapján közölt értékekkel.
7. A GIRL G109+11 infravörös hurok és a körülötte levő felhőkomplexumok gerjesztett csillagkeletkezése között kapcsolatot mutattam ki.
8. Kimutattam, hogy globuláris és üstökösszerű felhőkben a csillagkeletkezés hatékonysága nagyobb, mint az egyéb felhőkben, és hogy a csillagkeletkezési hatékonyság leginkább a felhőtömegtől és a csúcsextingciótól függ. Az egyes felhőkben megfigyelt YSO-k

számában emelkedést találtam a növekvő extinkcióval és a csökkenő hőmérséklettel. Számszerű tapasztalati összefüggéssel írtam le a felhők csillagkeletkezési hatékonyságának becsült felső határát a felhőtömeg illetve a csúcsextingció függvényében.

Következtetések

A halmazok tagszámának eloszlásfüggvénye hasonló, ám valamivel nagyobb meredekségű, mint a hagyományos értelemben vett halmazoké, ahol a meredekség kb. -1 a $\log M$ tartományok függvényében megrajzolt hisztogramon (pl. Zhang & Fall, 1999; Elmegreen, 2006). Minden valószínűség szerint a halmazokhoz halványabb csillagok is tartoznak, így a teljes halmaztömeg nagyobb mint a megfigyelt CTT-k összömege. Mindenesetre az eredmény azt sugallja, hogy a csillagok keletkezéskori csoportosulása egész kis skálákon is végbemegy. Ennek a sornak a folytatásai lehetnek a 3-4 csillagból álló hierarchikusan kötött rendszerek (Brandeker és mtsai., 2003).

Az egyes extinkciótartományokban külön-külön megfigyelhető a CTT-k számának, gyakoriságának, sőt a CTT-gyakoriság és az extinkció arányának megnövekedése is függetlenül a köztük lévő összefüggés alakulásától. Mindezek alátámasztják, hogy a héjak CTT-számban és gáztömeg-egységenkénti CTT-sűrűségben is többletet mutatnak. A klasszikus T Taurik eloszlásában megfigyelhető többlet arra utal, hogy a héjakon a csillagkeletkezés hatékonysága magasabb mint az egyéb területeken. A megnövekedett hatékonyság okozója lehet a héjat létrehozó folyamat (pl. szupernóvarobbanás).

A megfigyelt felhőmintából kapott vetületi tengelyarány eloszlás közel áll ahhoz, amit Jones & Basu (2002) $\sigma = 0,1$ szórású Gauss-eloszlással leírt $\xi = 0,3$ és $\eta = 0,3$ átlagos térbeli tengelyarányokkal modellezett mintából kaptak. Ez egybevág a nagy skálájú külső behatásra történő keletkezésük

esetén várttal (pl. Balsara, Ward-Thompson & Crutcher, 2001).

A Désert és mtsai. (1990) által modellezett és megfigyelt távoli infravörös színindexeket összehasonlítása alapján a modellezett teljes emisszió jól leírja a globuláris felhőket, és jó közelítést ad az üstökösszerű felhők esetében is.

Az extinkciótérkép alapján definiált felhőminta távolság és extinkcióadatokról becsült tömegértékeit felhasználva meghatározott tömegfüggvényének hatványindexe ($\alpha = 1,71 \pm 0,26$). Ez figyelembe véve Klessen (2001) nem turbulens ($\alpha \approx 1,5$) illetve turbulens ($\alpha \lesssim 2,0$) elméleti modellek alapján kapott értékeit, arra utal, hogy a felhőtömegek kialakulásában szerepet játszik a turbulencia.

A csillagkeletkezés hatékonyságára nézve a kapott eredmények alapján leginkább a felhők tömege és sűrűsége meghatározó. Ugyanakkor a különleges morfológiájú, globuláris és üstökösszerű felhők kiemelkedő csillagképző hatékonysága arra utal, a felhők környezetéből származó külső hatás befolyása is jelentős.

Irodalomjegyzék

A tézisek alapjául szolgáló közlemények

Kiss, Z. T., Tóth, L. V. , Krause, O. és mtsai. 2006, A&A, 453, 923

Kiss, Z. T. 2007, AN, 328, 875

Kiss, Z. T., Tóth, L. V., Miller, M. & Yonekura, Y. 2004, Balt. Astr., 13, 430

A dolgozat témájában megjelent további munkák

Kiss, Z. T., Tóth, L. V. 2002, PADEU 12, 85

Kiss, Z. T., Tóth, L. V. 2003, CoKon 103, 41

Kiss, Z. T., Kiss, Cs., Ábrahám, P., Tóth, L. V. 2004, PADEU, 14, 113

Kiss, Z. T., Tóth, L. V., Balázs, L. G., Könyves, V. 2006, PADEU, 17, 173

Könyves, V., Kiss, Cs., Moór, A., Kiss, Z. T. & Tóth, L. V. 2007, A&A, 463, 1227

Hivatkozások

- Balsara, D., Ward-Thompson, D. & Crutcher, R. M. 2001, MNRAS, 327, 715
- Brandeker, A., Jayawardhana, R. & Najita, J. 2003, AJ, 126, 2009
- Carpenter, J.M. 2000, AJ, 120, 3139
- Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S. és mtsai. 2003, VizieR On-line Data Catalog: II/246
- Désert, F.-X., Boulanger, F. & Puget, J. L. 1990, A&A, 237, 215
- Elmegreen, B. G. 2006, ApJ, 648, 572
- Guillout, P., Sterzik, M. F., Schmitt, J. H. M. M., Motch, C. & Neuhaeuser, R. 1998, A&A, 337, 113
- Jankovics, I., Appenzeller, I., Krautter, J. 1983, PASP, 95, 883
- Jones, C. E. & Basu, S. 2002, ApJ, 569, 280
- Kiss, Cs., Moór, A. & Tóth, L. V. 2004, A&A, 418, 131
- Kiss, Z. T., Tóth, L. V. , Krause, O. és mtsai. 2006, A&A, 453, 923
- Klessen, R. S. 2001, ApJ, 556, 837
- Könyves, V., Kiss, Cs., Moór, A., Kiss, Z. T. & Tóth, L. V. 2007, A&A, 463, 1227
- Kun, M 1982, Afz, 18, 63
- Lada, C.J. & Lada, E.A. 2003, ARAA, 41, 57
- Tóth, L. V. & Walmsley, C. M. 1996, A&A, 311, 981
- Zhang, Q. & Fall, S. M. 1999, ApJ, 527, 81